

PERANCANGAN DAN SIMULASI PADA PNP JUNCTION SOLAR CELLS

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro

oleh :

APRISMAN
10455025670



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2010**

PERANCANGAN DAN SIMULASI PADA PNP *JUNCTION SOLAR CELLS*

**APRISMAN
10455025670**

Tanggal Sidang : 11 Januari 2010

Perioda Wisuda : Februari 2010

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Energi listrik mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia, oleh sebab itu perlu dicari energi alternatif, salah satunya adalah energi dari sinar matahari. Piranti elektronika yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik adalah *solar cells*. Saat ini struktur *solar cells* yang digunakan adalah PN *Junction*. Pada penelitian ini telah disimulasikan PNP *Junction solar cells* dengan menggunakan perangkat lunak *AMPS-1D*. PNP *Junction Solar Cells* merupakan kombinasi lapisan-PN dan lapisan-P dari bahan silikon. Ketika lapisan PNP dikenai cahaya, maka akan terjadi pergerakan kuat arus dan elektron. Pada simulasi dipergunakan program *AMPS-1D* dengan memasukkan nilai-nilai parameter dari setiap lapisan PNP, sehingga diperoleh beberapa diagram yaitu *band energy*, *space charge distribution*, *free hole*, *free electrons*, *electric field*, *dark characteristic*, *light characteristic*. Efisiensi yang dihasilkan pada *light characteristic* adalah sebesar 5,330%, sehingga diperoleh perhitungan intensitas maximum sebesar 216,01 W/m².

Kata kunci : *AMPS-1D*, Efisiensi, *Solar Cells*

DESIGN AND SIMULATION ON PNP JUNCTION SOLAR CELLS

**APRISMAN
10455025670**

Date of Final Exam: 11 Januari 2010

Date of Graduation Ceremony Period: Februari 2010

Electrical Engineering Department
Faculty of Sciences and Technology
State Islamic University Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Electrical energy has many benefits for human life, therefore it needs to find alternative energy, one of which is energy from the sun. Electronic devices that can turn solar energy into electrical energy is solar cells. The current structure of solar cells used are PN Junction. In this study has been simulated PNP junction solar cells by using the software AMPS-1D. PNP Junction Solar Cells is a combination of PN-layers and P-layer from silicon material. When the PNP layer is subjected to light, there will be a strong movement of currents and electron. The simulations used AMPS-1D program by entering the parameter values of each layer of PNP, which obtained a diagram of energy bands, space charge distribution, free holes, free electrons, electric field, characteristic dark, light characteristic. The resulting efficiency characteristic of light is of 5.330%, so that the maximum intensity obtained for the calculation of 216.01 W/m².

Key word : *AMPS-1D, Efficiency, Solar Cells*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN <i>COVER</i>	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-2
1.4 Tujuan	I-2
1.5 Metode Penelitian.....	I-2
1.6 Sistematika Penulisan	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Semikonduktor	II-1
2.1.1 Prinsip Dasar	II-1
2.1.2 Susunan Atom Semikonduktor	II-2

2.1.3	Semikonduktor Tipe-N.....	II-3
2.1.4	Semikonduktor Tipe-P	II-4
2.1.5	Dioda sambungan p-n (<i>p-n Junctions</i>)	II-4
2.2	<i>Solar Cells</i>	II-7
2.3	<i>AMPS-1D</i>	II-10
BAB III	PERANCANGAN DAN SIMULASI PNP <i>SOLAR CELLS</i>	III-1
3.1	Perancangan Struktur Pada PNP <i>Solar Cells</i>	III-1
3.2	Penghimpunan Rumus	III-2
3.2.1	Menghitung Rapat Arus	III-2
3.2.2	Menghitung <i>Fill Factor</i> dan Intensitas Maximum.....	III-2
3.4	Simulasi Menggunakan program <i>AMPS-1D</i>	III-3
BAB IV	ANALISA HASIL SIMULASI.....	IV-1
4.1	<i>Band Energy</i>	IV-1
4.2	<i>Space charge distribution</i>	IV-2
4.3	<i>Free Hole</i>	IV-3
4.4	<i>Free electron</i>	IV-4
4.5	<i>Electron field</i>	IV-4
4.6	<i>Dark characteristic</i>	IV-5
4.7	<i>Light characteristic</i>	IV-6
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik mempunyai banyak manfaat di alam raya ini, karena tidak ada aktivitas yang bergerak tanpa energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber energi alternatif.

Dalam upaya pencarian sumber energi listrik yang baru sebaiknya memenuhi syarat yaitu menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu pencarian tersebut diarahkan pada pemanfaatan energi matahari, baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan panel sel surya yang dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik yang dinamakan *solar cells*.

Solar cells merupakan suatu panel yang terdiri dari beberapa sel dan beragam jenis. Penggunaan *solar cells* ini telah banyak di gunakan di negara-negara berkembang dan negara maju, dimana pemanfaatannya tidak hanya pada lingkup kecil tetapi sudah banyak digunakan untuk keperluan industri sehingga energi matahari dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif.

Memang tidak diragukan lagi bahwa *solar cells* adalah salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, dan juga sumber energinya banyak tersedia di alam, yaitu sinar matahari, terlebih di negara tropis seperti Indonesia yang menerima sinar matahari sepanjang tahun.

Permasalahan mendasar dalam teknologi *solar cells* adalah efisiensi yang masih rendah dalam merubah energi surya menjadi energi listrik, yang sampai saat ini efisiensi tertinggi yang bisa dicapai sekitar 30% (Triarman, 2003), itupun dalam skala laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan bahwa bagaimana mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan struktur PNP *Junction Solar Cells*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, masalah dibatasi dengan merancang struktur pada PNP *Junction Solar Cells* dan Simulasi PNP *Junction solar cells* pada perangkat lunak *AMPS-1D*.

1.4 Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang struktur PNP *Junction solar cells*.
2. Mensimulasikan PNP *junction solar cells* pada perangkat lunak *AMPS-1D* untuk menghasilkan diagram pita energi, distribusi muatan ruang, *free hole*, *free electron*, *electric field*, *dark* karakteristik dan *light* karakteristik serta efisiensi dengan menggunakan program *AMPS-1D* pada struktur PNP *Junction solar cells*.

1.5 Metodologi Penelitian

Tahap metodologi yang akan digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Tahap persiapan, meliputi : Studi Pustaka
Mengumpulkan teori-teori yang berkaitan dengan semikonduktor dan *Solar cells* dan menetapkan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perancangan dan simulasi.
2. Tahap perancangan
Merancang struktur sel dari PNP *Junction solar cells*.
3. Tahap simulasi
Simulasi menggunakan program *AMPS 1-D* pada PNP *Junction solar cells*.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas dasar teori pendukung dari Tugas Akhir.

BAB III PERANCANGAN DAN SIMULASI PADA PNP *JUNCTION SOLAR CELLS*

Bab ini membahas perancangan struktur PNP *Junction solar cells*, perhimpunan rumus dan simulasi menggunakan program *AMPS-1D*.

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini membahas tentang hasil dari simulasi menggunakan program *AMPS-1D*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor

2.1.1 Prinsip Dasar

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai insulator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduksi yang sering digunakan adalah silikon, *germanium*, dan *gallium arsenide*. (www.wikipedia.org, 2009).

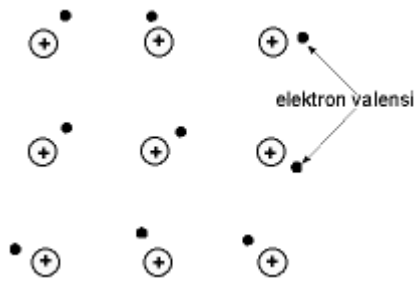
Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor dan sebuah IC (integrated circuit). Disebut semi atau setengah konduktor, karena bahan ini memang bukan konduktor murni. (Aswan Hamonangan, 2008).

Bahan-bahan logam seperti tembaga, besi, timah disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa, sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. (Aswan Hamonangan, 2008).

Sebenarnya atom tembaga dengan lambang kimia Cu memiliki inti 29 ion (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut *nucleus*. Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan elektron-elektron ini. (Aswan Hamonangan, 2008).

Satu buah elektron lagi yaitu elektron yang ke-29, berada pada orbit paling luar. Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. (Aswan Hamonangan, 2008).

Karena hanya ada satu elektron dan jaraknya 'jauh' dari *nucleus*, ikatannya tidaklah terlalu kuat. Hanya dengan energi yang sedikit saja elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatannya. (Aswan Hamonangan, 2008).



Gambar 2.1 Ikatan atom tembaga (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008).

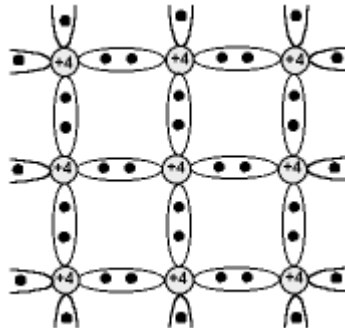
Pada suhu kamar, elektron tersebut dapat bebas bergerak atau berpindah-pindah dari satu nucleus ke nucleus lainnya. Jika diberi tegangan potensial listrik, elektron-elektron tersebut dengan mudah berpindah ke arah potensial yang sama. Phenomena ini yang dinamakan sebagai arus listrik. Isolator adalah atom yang memiliki elektron valensi sebanyak 8 buah, dan dibutuhkan energi yang besar untuk dapat melepaskan elektron-elektron ini. Dapat ditebak, semikonduktor adalah unsur yang susunan atomnya memiliki elektron valensi lebih dari 1 dan kurang dari 8. Tentu saja yang paling "semikonduktor" adalah unsur yang atomnya memiliki 4 elektron valensi. (Aswan Hamonangan, 2008).

2.1.2 Susunan Atom Semikonduktor

Bahan semikonduktor yang banyak dikenal contohnya adalah *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge) dan *Galium Arsenida* (GaAs). *Germanium* dahulu adalah bahan satu-satunya yang dikenal untuk membuat komponen semikonduktor. Namun belakangan, silikon menjadi populer setelah ditemukan cara mengekstrak bahan ini dari alam. Silikon merupakan bahan terbanyak ke dua yang ada di bumi setelah oksigen (O₂). Pasir, kaca dan batu-batuan lain adalah bahan alam yang banyak mengandung unsur silikon. Dapatkah anda menghitung jumlah pasir dipantai. (Aswan Hamonangan, 2008).

Struktur atom kristal silikon, satu inti atom (*nucleus*) masing-masing memiliki 4 elektron valensi. Ikatan inti atom yang stabil adalah jika dikelilingi oleh 8 elektron, sehingga 4 buah elektron atom kristal tersebut membentuk ikatan kovalen dengan ion-ion atom tetangganya. (Aswan Hamonangan, 2008).

Pada suhu yang sangat rendah (0°K), struktur atom silikon divisualisasikan seperti pada gambar berikut :



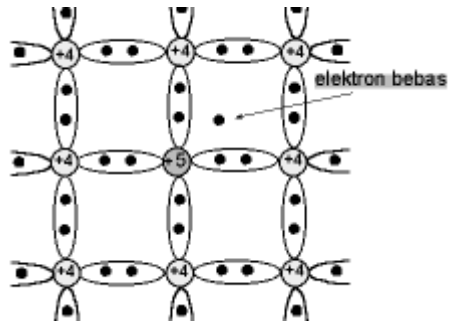
Gambar 2.2 Struktur Silikon dua dimensi (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008)

Ikatan kovalen menyebabkan elektron tidak dapat berpindah dari satu inti atom ke inti atom yang lain. Pada kondisi demikian, bahan semikonduktor bersifat isolator karena tidak ada elektron yang dapat berpindah untuk menghantarkan listrik. Pada suhu kamar, ada beberapa ikatan kovalen yang lepas karena energi panas, sehingga memungkinkan elektron terlepas dari ikatannya. Namun hanya beberapa jumlah kecil yang dapat terlepas, sehingga tidak memungkinkan untuk menjadi konduktor yang baik. (Aswan Hamonangan, 2008).

Ahli-ahli fisika terutama yang menguasai fisika quantum pada masa itu mencoba memberikan doping pada bahan semikonduktor ini. Pemberian doping dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. (Aswan Hamonangan, 2008).

2.1.3 Semikonduktor Tipe-N

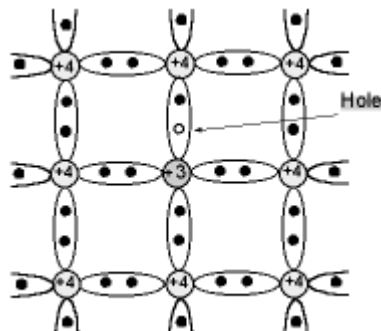
Misalnya pada bahan silikon diberi doping *phosphorus* atau *arsenic* yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi. Dengan doping, Silikon yang tidak lagi murni ini (*impurity semiconductor*) akan memiliki kelebihan elektron. Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n disebut juga donor yang siap melepaskan elektron. (Aswan Hamonangan, 2008).



Gambar 2.3 Semikonduktor Tipe-N (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008)

2.1.4 Semikonduktor Tipe-P

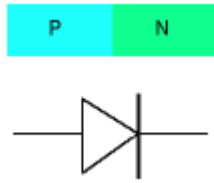
Kalau silikon diberi doping *Boron*, *Gallium* atau *Indium*, maka akan didapat semikonduktor tipe-p. Untuk mendapatkan silikon tipe-p, bahan dopingnya adalah bahan trivalen yaitu unsur dengan ion yang memiliki 3 elektron pada pita valensi. Karena ion silikon memiliki 4 elektron, dengan demikian ada ikatan kovalen yang bolong (*hole*). *Hole* ini digambarkan sebagai akseptor yang siap menerima elektron. Dengan demikian, kekurangan elektron menyebabkan semikonduktor ini menjadi tipe-p. (Aswan Hamonangan, 2008).



Gambar 2.4 Semikonduktor tipe-P (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008)

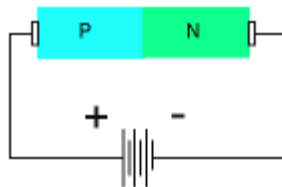
2.1.5 Dioda sambungan p-n (*p-n Junctions*)

Jika dua tipe bahan semikonduktor ini dilekatkan, maka akan didapat sambungan P-N (*p-n junction*) yang dikenal sebagai dioda. Pada pembuatannya memang material tipe P dan tipe N bukan disambung secara harfiah, melainkan dari satu bahan (*monolithic*) dengan memberi doping (*impurity material*) yang berbeda. (Aswan Hamonangan, 2008).



Gambar 2.5 Sambungan P-N (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008)

Jika diberi tegangan maju (*forward bias*), dimana tegangan sisi P lebih besar dari sisi N, elektron dengan mudah dapat mengalir dari sisi N mengisi kekosongan elektron (*hole*) di sisi P.(Aswan Hamonangan, 2008).

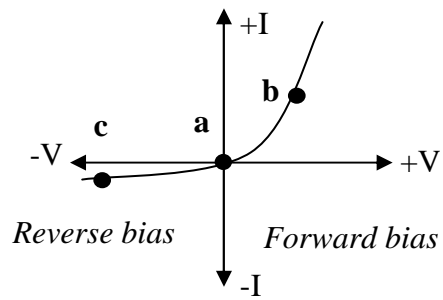


Gambar 2.6 Forward bias (Sumber : Aswan Hamonangan, 2008)

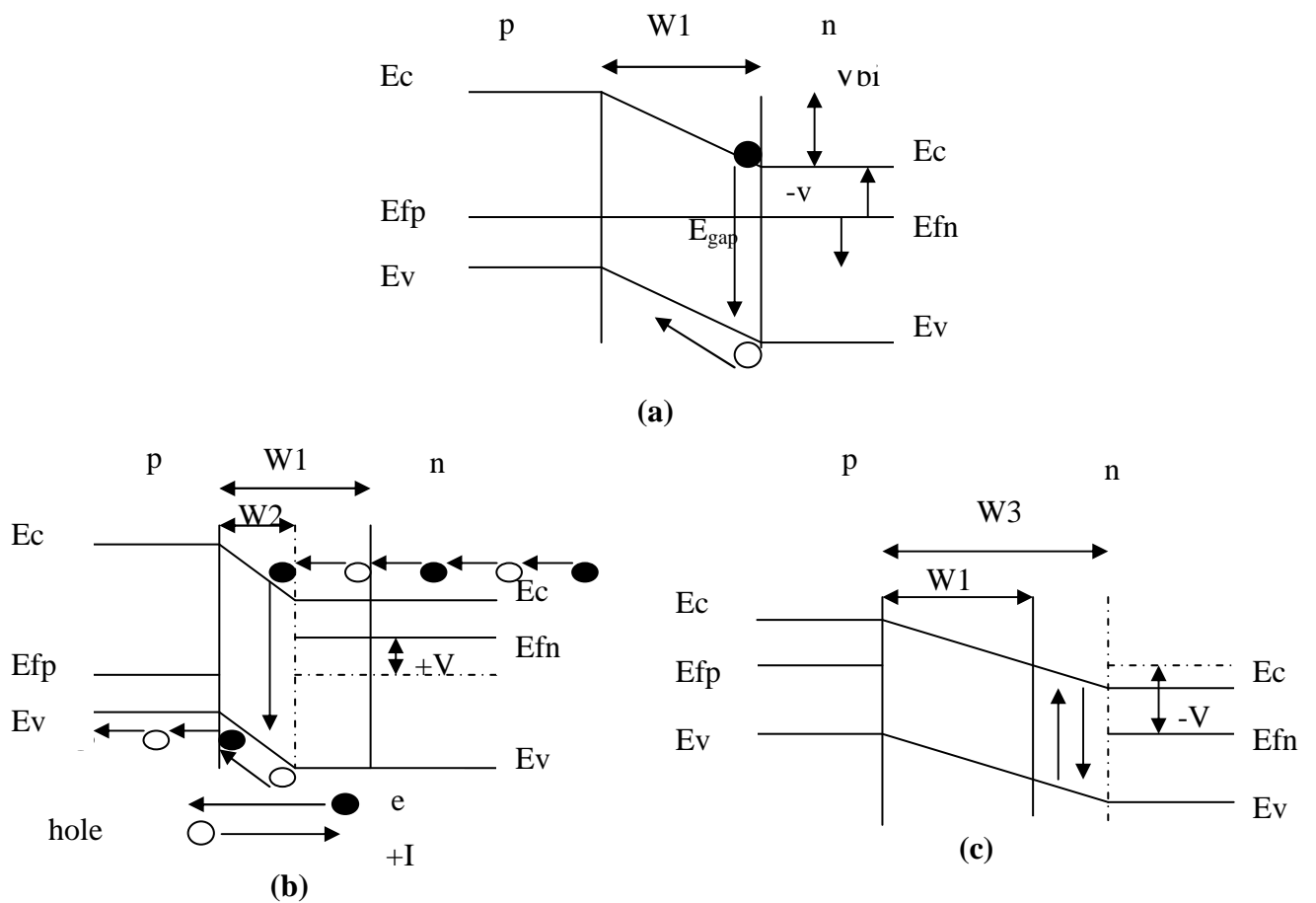
Sebaliknya jika diberi tegangan balik (*reverse bias*), dapat dipahami tidak ada elektron yang dapat mengalir dari sisi N mengisi *hole* di sisi P, karena tegangan potensial di sisi N lebih tinggi.(Aswan Hamonangan, 2008).

Dioda hanya akan dapat mengalirkan arus satu arah saja, sehingga dipakai untuk aplikasi rangkaian penyearah (*rectifier*). Dioda, Zener, LED, Varactor dan Varistor adalah beberapa komponen semikonduktor sambungan PN yang dibahas pada kolom khusus.(Aswan Hamonangan, 2008).

Silikon memiliki energi *gap* (E_g) sebesar 1,12 eV, nilai konsentrasi konduksi $N_c = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ dan nilai konsentrasi valensi $N_v = 1,04 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Gambar 2.7, memperlihatkan karakteristik dioda sambungan p-n. Fenomena terjadinya arus, dapat diamati dengan pita energi, terhadap tiga titik yang diberikan pada kurva, lihat pada Gambar 2.8.(Triarman. 2003).



Gambar 2.7. Karakteristik dioda sambungan P-N (Sumber : Triarman. 2003)



Gambar 2.8. Pita energi dioda sambungan p-n pada : (a) kesetimbangan thermal, (b) *forward bias*, (c) *reverse bias* (Sumber : Triarman. 2003)

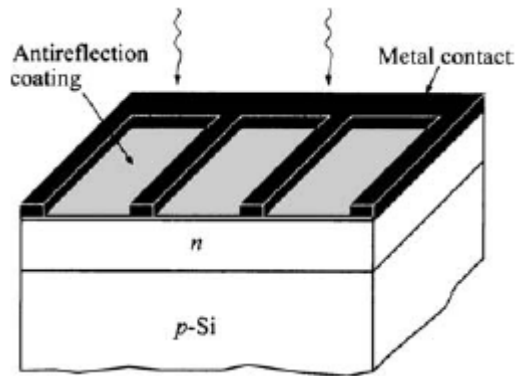
Berdasarkan Gambar 2.8.a, pada saat sambungan P-N berada pada kesetimbangan thermal, tidak terjadi perpindahan pasangan elektron-hole. Apabila sambungan P-N berada pada *forward bias*, sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 2.8.b, terjadi perpindahan elektron-hole. Elektron-hole berpindah dikarenakan oleh mengecilnya daerah deplesi (W), disamping itu, adanya beda potensial yang besarnya sama dengan jarak pergeseran antara Ef tipe-P dan tipe-N. Sehingga menyebabkan elektron pada daerah deplesi mudah berpindah. Pergerakan elektron-hole menyebabkan terjadinya arus yang arahnya sama dengan arah perpindahan hole. Tetapi pada saat *reverse bias*, pada gambar 2.8.c, pasangan elektron-hole tidak berpindah. Pembalikan tegangan disebabkan membesarnya daerah deplesi dan bukit pada sambungan. (Eli Estriani. 2008).

2.2 Solar Cells

Solar Cells atau sel *photovoltaic*, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda P-N *junction*, di mana, dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Pengubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaics*. (www.wikipedia, 2009).

Sel surya memiliki banyak aplikasi. Mereka terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari grid tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit (bumi), kalkulator, pompa air, dll. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net metering. (www.wikipedia, 2009).

Secara sederhana *solar cell* terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, nah aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari *solar cells*. (Rusminto Tjatur Widodo.2009).



Gambar 2.9 Silikon *pn junction solar cells* (Sumber : Sze. 2007)

Berdasarkan gambar 2.9 silikon *pn junction solar cells*, energi foton merupakan perkalian antara konstanta *planck* sebesar $6,63 \times 10^{-34}$ *joule.second* dengan frekuensi foton (*hertz*).

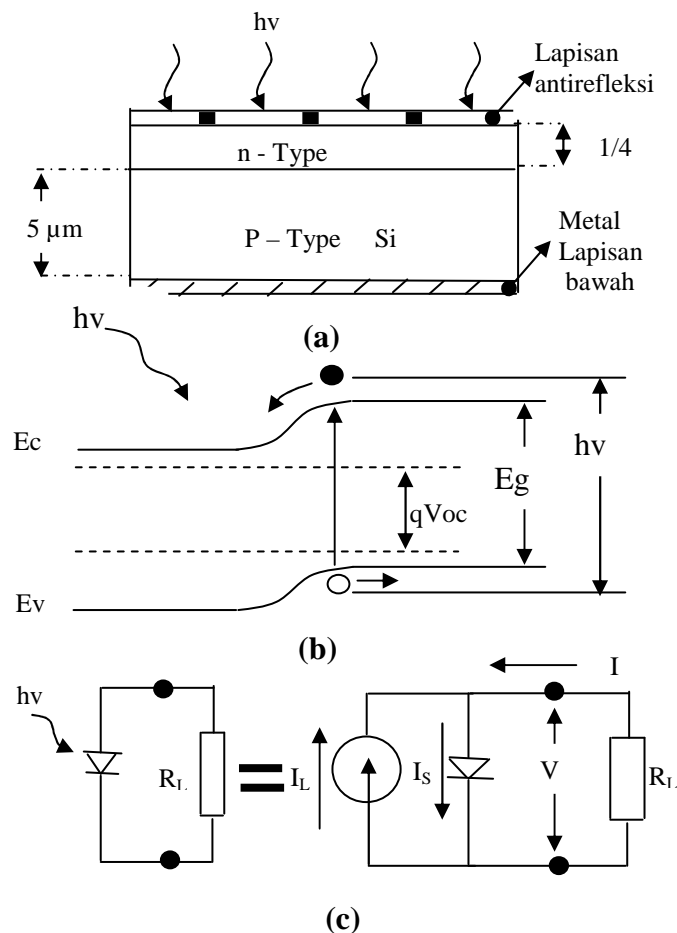
$$E = h \cdot \nu \dots\dots\dots (2.1)$$

Lebih detail lagi bisa dijelaskan sinar matahari yang terdiri dari *photon-photon*, jika menimpa permukaan bahan solar sel (*absorber*), akan diserap, dipantulkan atau dilewatkan begitu saja dan hanya foton dengan level energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalirlah arus listrik. Level energi tersebut disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. (Rusminto Tjatur Widodo.2009).

Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton ($h\nu$) harus sedikit lebih besar atau diatas daripada energi *band-gap*. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi *band-gap*, maka extra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada *solar cells*. Karenanya sangatlah penting pada *solar cells* untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semikonduktor yang dipergunakan. (Rusminto Tjatur Widodo.2009).

Skema yang mewakili *solar cells*, menurut Sze(1981), sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 2.10.a, terdiri dari sambungan p-n, dengan satu energi gap (E_g). Pada saat energi *photon* ($h\nu$) yang mengenai sel lebih besar dari E_g , energi dikontribusikan sebesar E_g ke sel *output*, dan energi diluar E_g atau sisanya dibuang sebagai panas. (Triarman, 2003).

Peningkatan arus I_L dengan menggunakan Efek Tunnel ($I_L = I_t$), menjadi perhatian utama, karena dengan meningkatnya arus I_L tentu akan meningkatkan daya dan efisiensi silikon *solar cells*. Untuk menunjukkan perubahan ideal dari perpindahan elektron yang terjadi, diperlihatkan diagram pita energi sambungan p-n dibawah radiasi matahari pada Gambar 2.10.b. Sel surya diasumsikan memiliki karakteristik I-V ideal, rangkaian pengganti diperlihatkan pada Gambar 2.10.c. (Triarman, 2003).



Gambar 2.10 Cara kerja sel surya (Sumber : Triarman. 2003)

Besarnya arus (I) dapat di tentukan melalui persamaan berikut ini:

$$I = I_s \cdot (e^{qV/kT} - 1) - I_L \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan tegangan terminal (*open circuit*) :

$$V_{oc} = kT \ln \left(\frac{I_L}{I_s} + 1 \right) \approx kT \ln \left(\frac{I_L}{I_s} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Ada tiga parameter penting yang perlu di pertimbangkan dalam perancangan *solar cells*, yaitu daya keluaran (Pm), efisiensi (η), dan *fill factor* (FF). Daya keluaran maksimum (Pm). (Sze,2007) :

$$P_{out\ max} = I_m \cdot V_m \dots\dots\dots(2.4)$$

Efisiensi konversi ideal *solar cells* dengan Pin sebesar 844 W/m² pada AM1,5. (Sze,2007). Ditulis dengan :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.3 *AMPS-1D*

AMPS adalah satu program umum untuk meneliti dan mendisain angkut di microelectronic dan struktur photonic. (Stephen J Fonash, 1997).

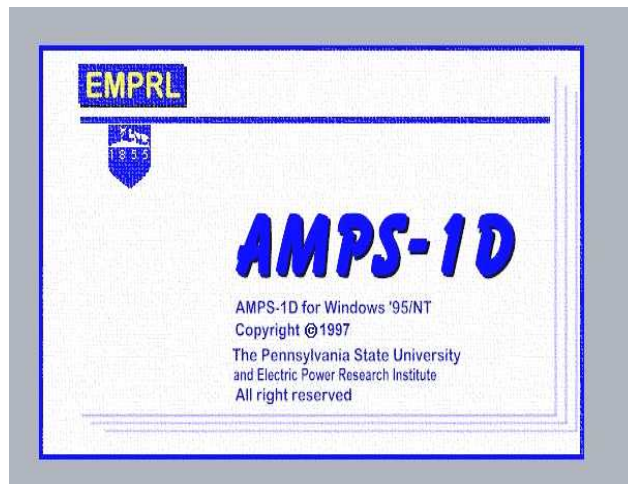
Nama *AMPS-1D* merupakan singkatan dari kata *Analisis Microelektronik And Photonic Structure*, ditulis pada tahun 1997.

Fungsi dari *AMPS-1D* ini digunakan untuk menyelesaikan masalah bagian khusus, yaitu untuk menghasilkan simulasi dari elektronika *device* dalam bentuk grafik dengan memasukkan nilai-nilai pada parameter-parameter dalam program *AMPS-1D*.

Kelebihan yang sangat menonjol dari *AMPS-1D* adalah menyediakan *tools* penyelesaian masalah untuk problem-problem khusus dan grafik yang dihasilkan merupakan gambar 2 dimensi yang memudahkan dalam melakukan analisis dari simulasi yang dihasilkan. (Stephen J Fonash, 1997)

Langkah-langkah memulai *AMPS-1D* :

1. Diklik icon *shortcut* pada *desktop windows*. *Shortcut* ini akan otomatis terdapat di *desktop windows* ketika *AMPS-1D* selesai di instal.
2. Jendela *desktop AMPS-1D* akan terbuka dan memiliki tampilan seperti Gambar 2.11.

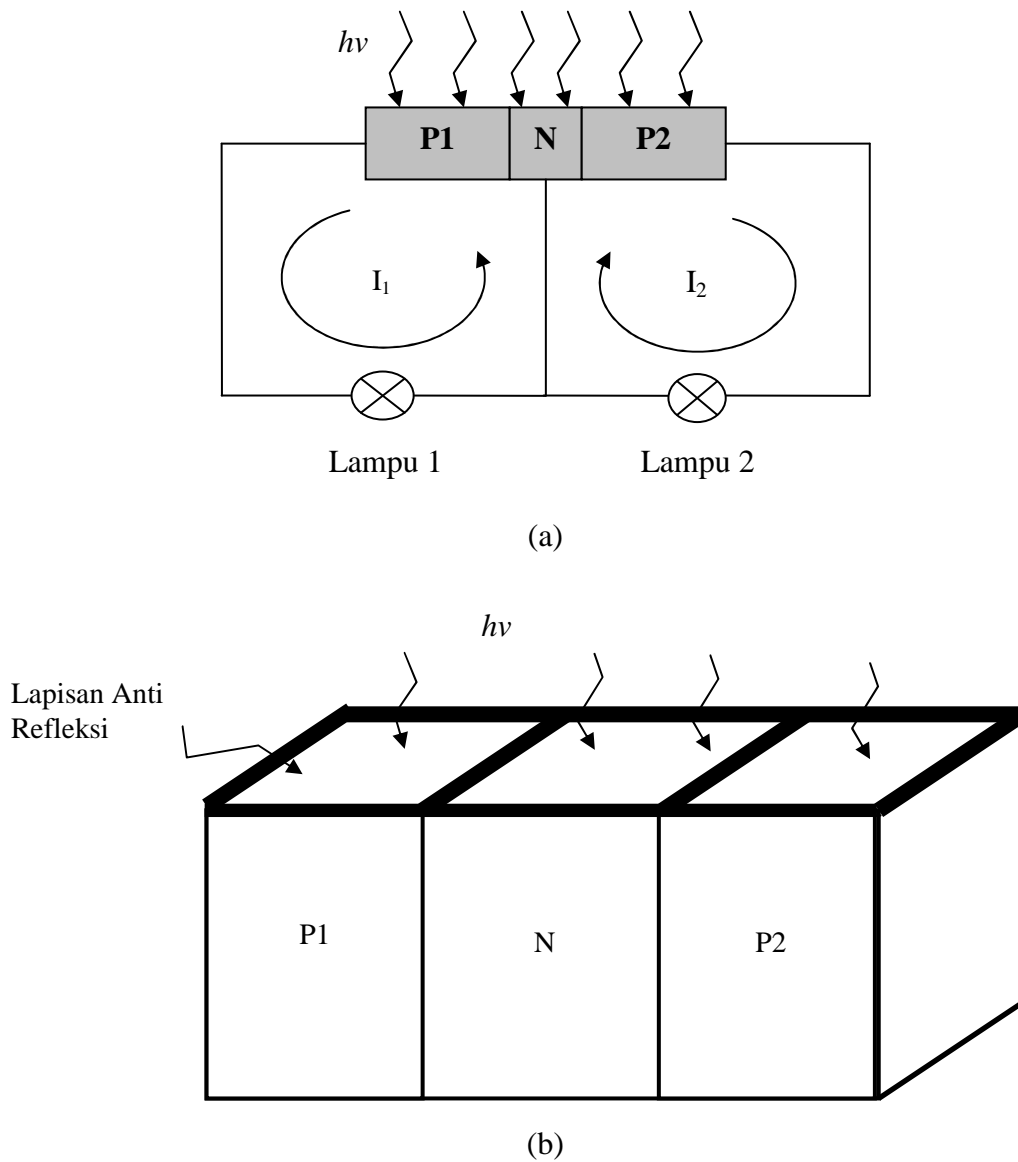


Gambar 2.11 Tampilan *desktop AMPS-1D* (Sumber : Stephen J Fonash, 1997)

BAB III

PERANCANGAN DAN SIMULASI PADA PNP *JUNCTION SOLAR CELLS*

3.1 Perancangan Struktur Pada PNP *Junction Solar Cells*



Gambar 3.1 Model PNP *Junction Solar Cells*, (a) Arah pergerakan arus listrik pada rangkaian eksternal, (b) Struktur PNP *Junction Solar Cells*

Gambar 3.1, merupakan model dari PNP *Junction Solar Cells*. Gambar 3.1.a, merupakan arah dari pergerakan arus listrik pada rangkaian eksternal. Energi foton yang berasal dari sinar matahari mengenai sel P, N dan P, lalu energi foton tersebut masuk melewati lapisan anti refleksi, lapisan anti refleksi berfungsi untuk mencegah energi foton keluar dari sel, lalu energi foton tersebut akan mengenai elektron dalam sel tersebut sehingga dengan adanya tambahan energi yang dihasilkan dari energi foton maka akan menyebabkan terjadi pergerakan elektron dan hole serta menghasilkan arus listrik. Pada loop kiri kuat arus listrik bergerak berlawanan jarum jam dan pada loop kanan kuat arus listrik bergerak searah jarum jam.

Sedangkan pada gambar 3.1.b adalah bentuk rancangan dari struktur PNP *Junction solar cells*, yang mendapatkan energi foton ($h\nu$) dari sinar matahari, lalu masuk ke seluruh lapisan pada PNP *Junction solar cells* yaitu lapisan P1, lapisan N dan lapisan P2.

3.2 Penghimpunan Rumus

Dalam mengerjakan simulasi, dibutuhkan beberapa rumus yang diperlukan untuk mencapai hasil sesuai dengan teori yang diinginkan. Hasil yang diinginkan adalah tercapainya grafik dalam program *AMPS-1D* pada PNP *Junction solar cells*.

3.2.1 Menghitung Rapat Arus

Rapat arus saturasi adalah tahapan-tahapan untuk menghitung arus pada efisiensi PNP *solar cell*. Rumus untuk menghitung rapat arus tersebut dapat dihitung dengan :

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.2.2 Menghitung *Fill Factor* dan Intensitas Maximum

Untuk tahap penyusunan rumus menghitung *Fill Factor*, Daya dan Intensitas Maximum, adalah :

$$FF = \frac{I_m x V_m}{I_{sc} x V_{oc}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\frac{P_m}{A} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{A} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$I_{max} = FF \times J_{sc} \times V_{oc} \dots\dots\dots(3.4)$$

3.3 Simulasi menggunakan program AMPS-1D

Dalam mengerjakan simulasi pada struktur PNP *junction solar cells*, dibutuhkan beberapa parameter yang harus diisi pada saat menggunakan AMPS-1D tersebut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Parameter dari PNP *solar cells* akan ditunjukkan pada tabel 1.

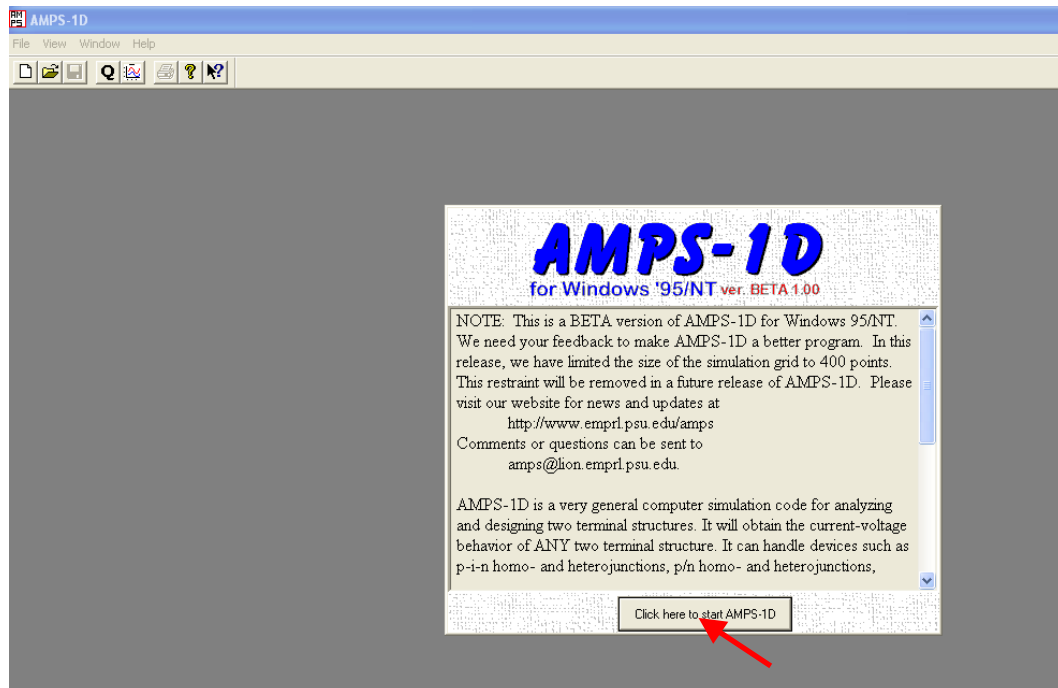
Tabel 3.1 Parameter-parameter pada program AMPS-1D

No	Parameter	Keterangan
1	EPS	Eps = Epsilon (Relative permittivity)
2	MUN	Pergerakan elektron
3	MUP	Pergerakan <i>Hole</i>
4	NA	Jumlah <i>Acceptor</i>
5	ND	Jumlah Donor
6	EG	<i>Energy Gap</i>
7	NC	Konsentrasi Konduksi
8	NV	Konsentrasi Valensi
9	CHI	Daya tarik elektron pada temperature
10	Eopt	<i>Energy Optic</i> (Energi Optik)
11	ED	<i>Energy Donor</i>
12	GDO	<i>Prefactor</i> pada penyamaan $g_d = G_{doexp}(E-EV/Ed)$
13	TSIG/ND	Bagian penampang untuk elektron dalam status <i>donor tail</i>
14	TSIG/PD	Bagian penampang untuk <i>Hole</i> dalam status donor tail
15	EA	Energi Akseptor
16	GAO	<i>Prefactor</i> pada penyamaan $g_a = G_{aoexp}(E-EC/Ea)$
17	TSIG/NA	Bagian panampang untuk elektron di status <i>Tail</i> akseptor

18	TSIG/PA	Bagian panampang-lintang untuk <i>hole</i> di status <i>Tail</i> akseptor
19	EDA	Pertukarkan daya untuk mengukur positif dari EV
20	GMGD	Kepadatan dari donatur <i>mindgap</i>
21	MSIG/ND	Bagian panampang-lintang untuk elektron di donatur <i>midgap</i>
22	MSIG/PD	Bagian panampang-lintang untuk <i>hole</i> di donatur <i>mindgap</i>
23	GMGA	Kepadatan dari akseptor <i>midgap</i>
24	MSIG/NA	Bagian panampang untuk elektron di akseptor <i>mindgap</i>
25	MSIG/PA	Bagian Panampang untuk <i>hole</i> di akseptor <i>mindgap</i>
26	EDON	Energi Ion
27	WDSD	Lebar donatur doping
28	DSIG/ND	Elektron yang tertangkap di panampang untuk donatur
29	DSIG/PD	<i>Hole</i> yang tertangkap di penampang untuk donatur
30	NDG	Kepadatan <i>Donatur Gauss</i>
31	EDONG	Gauss donatur mencapai puncak daya yang diukur positif
33	GSIG/ND	Daerah panampang dari donatur status Gauss untuk elektron
34	GSIG/PD	Daerah Panampang dari donatur status Gauss untuk <i>hole</i>
35	PHIBL	EC - EF pada L
36	SNL	Hubungan Elektron
37	SPL	Hubungan <i>Hole</i>
38	RB	Koefisien refleksi pada pembalikan permukaan
39	PHIBO	EC - EF at $x=0$ (eV
40	SNO	Hubungan elektron pada $x=0$
41	SPO	Hubungan <i>hole</i> pada $x=0$
42	RF	Koefisien Refleksi pada pada daerah permukaan
43	Lambda	Panjang Gelombang
44	Flux	Koefisien Diffusi
45	Alpha	Koefisien Absorpsi

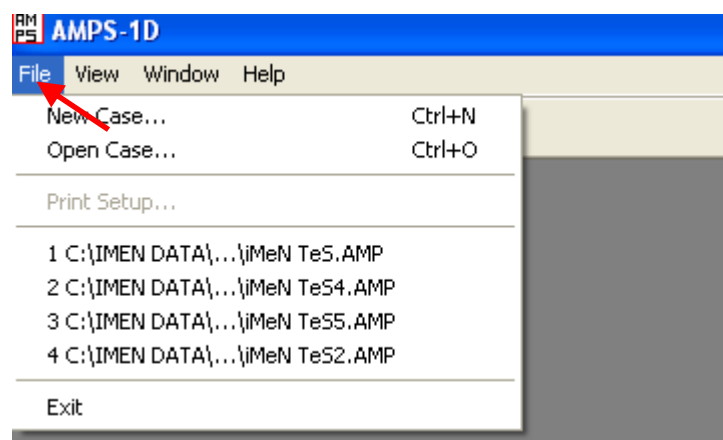
Untuk menghasilkan grafik *band energy*, *space charge distribution*, *free hole*, *free electron*, *electric field*, *dark characteristic* dan *light characteristic* serta nilai efisiensi, maka pada simulasi dipergunakan *software AMPS-1D* yang terdiri dari beberapa langkah, yaitu :

1. Diklik *Start Windows*, untuk memulai program simulasi



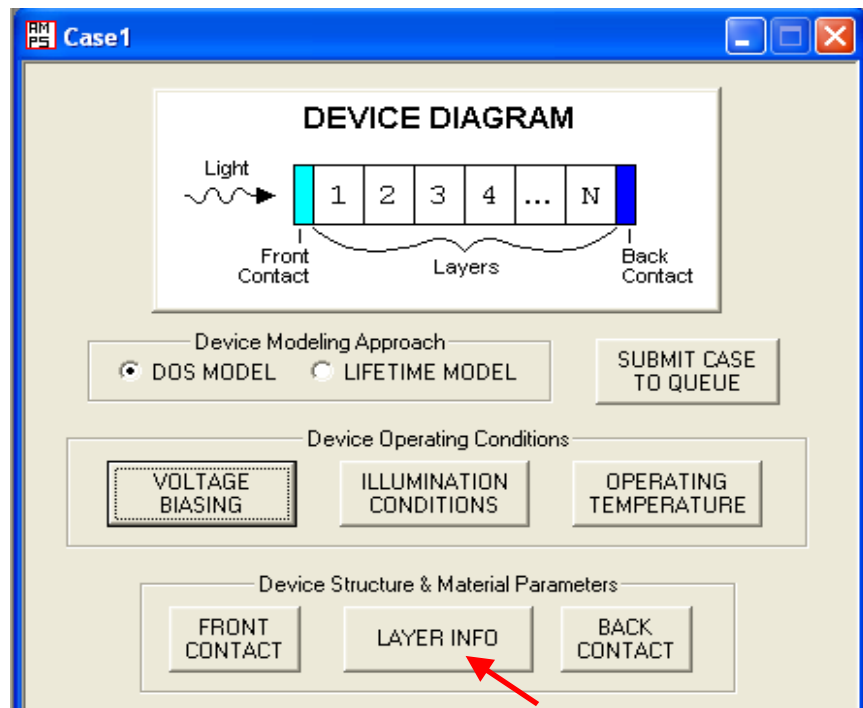
Gambar 3.2 Start window

2. Diklik *File*, lalu diarahkan kursor ke arah *New Case*, lalu akan muncul tampilan *Device Diagram* pada *Case 1*



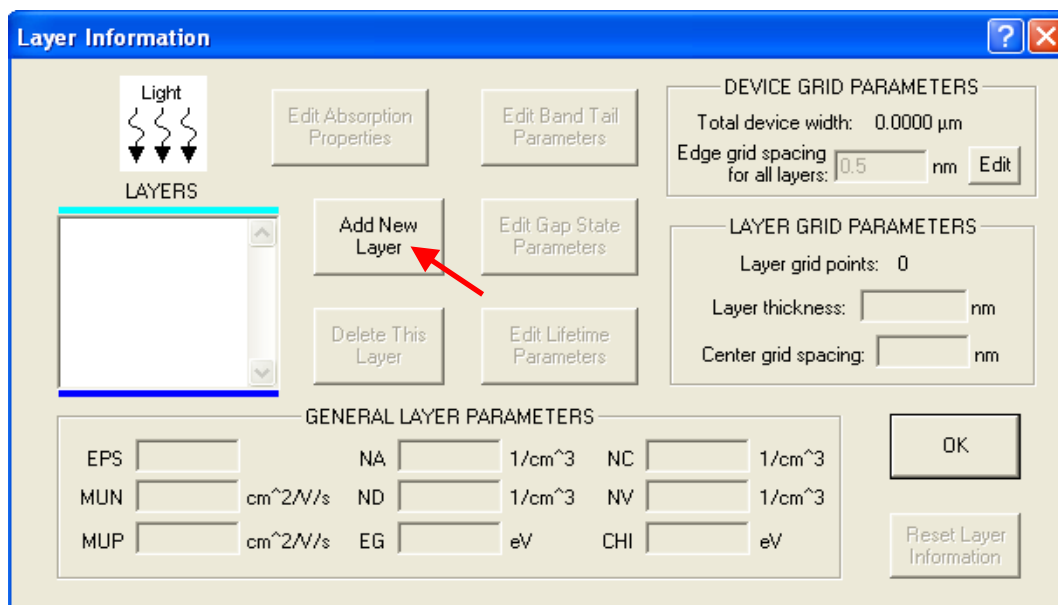
Gambar 3.3 File

3. Diklik *Layer Info* Pada *Device Diagram* untuk menampilkan *Layer Information*

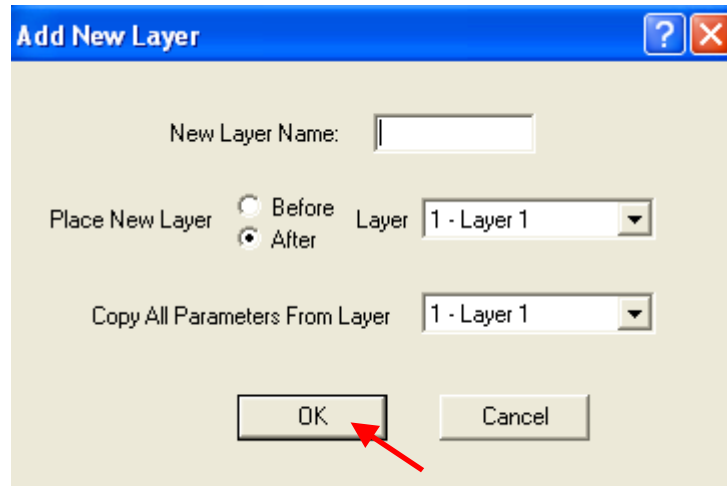


Gambar 3.4 *Device diagram*

4. Diklik *Add New Layer* pada *Layer Information*, lalu diedit *New Layer Name*, Lalu diklik *OK*



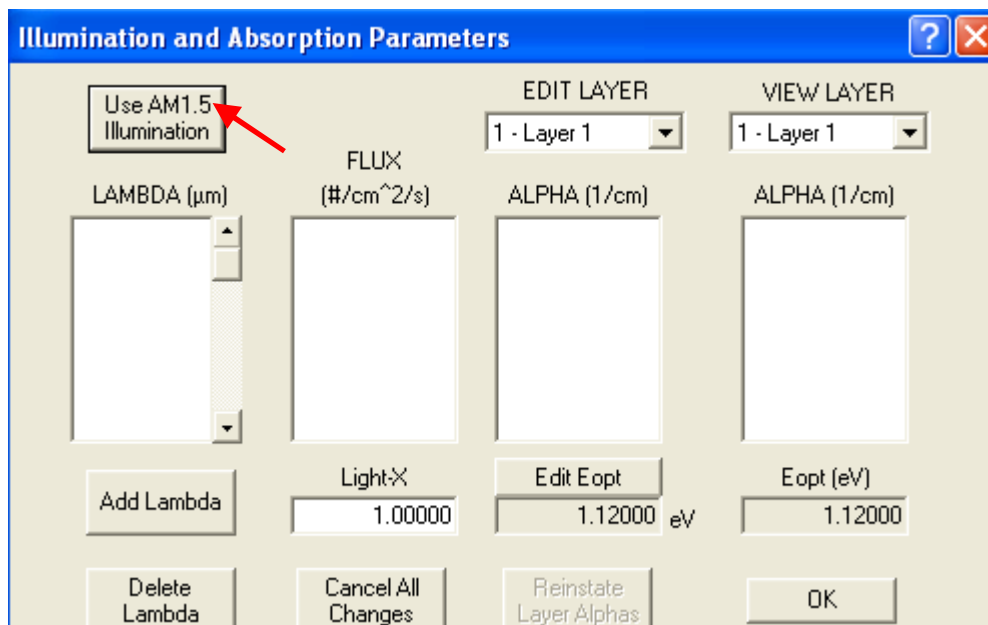
(a)



(b)

Gambar 3.5 Layer Info (a) *Layer Illumination*,
(b). Add New Layers

5. Diklik *Use AM1.5 Illumination* pada *Illumination and Absorption Parameters* untuk menampilkan nilai *Lambda* (μm), *Flux* ($\text{\#}/\text{cm}^2/\text{s}$) dan *Alpha* ($1/\text{cm}$)



(a)

Illumination and Absorption Parameters

Use AM1.5 Illumination

EDIT LAYER: 1 - Layer 1

VIEW LAYER: 1 - Layer 1

LAMBDA (μm)	FLUX (#/cm ² /s)	ALPHA (1/cm)	ALPHA (1/cm)
0.900	7.310e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.880	7.970e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.860	8.340e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.840	8.020e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.820	7.200e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.800	8.350e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.780	8.600e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.760	8.200e+015	0.000e+000	0.000e+000
0.740	8.000e+015	0.000e+000	0.000e+000

Light X: 1.00000

Edit Eopt: 1.12000 eV

Eopt (eV): 1.12000

Buttons: Add Lambda, Delete Lambda, Cancel All Changes, Reinstate Layer Alphas, OK

(b)

Gambar 3.6 (a) *Illumination and Absorption Parameters*, (b) nilai dari *Illumination and Absorption*

- Diklik *Edit Band Tail Parameters*, lalu dimasukkan nilai-nilainya pada *Band Tail Parameters*

Layer Information

Light

Layers: 1 - Layer 1

Buttons: Edit Absorption Properties, Edit Band Tail Parameters, Edit Gap State Parameters, Edit Lifetime Parameters, Add New Layer, Delete This Layer

DEVICE GRID PARAMETERS

Total device width: 0.1000 μm

Edge grid spacing for all layers: 0.5 nm

LAYER GRID PARAMETERS

Layer grid points: 52

Layer thickness: 100.0 nm

Center grid spacing: 5.0 nm

GENERAL LAYER PARAMETERS

EPS: 11.90, MUN: 1350.0000 cm²/V/s, MUP: 450.0000 cm²/V/s, NA: 0.00e+000 1/cm³, ND: 0.00e+000 1/cm³, EG: 1.12 eV, NC: 2.80e+019 1/cm³, NV: 1.04e+019 1/cm³, CHI: 4.05 eV

Buttons: OK, Reset Layer Information

(a)

Band Tail Parameters

Current Layer: Layer 1

OK Cancel

Donor-like Tail Parameters

ED: 0.01 eV
 GDO: 1.00e+014 1/cm³/eV
 TSIG/ND: 1.00e-015 cm²
 TSIG/PD: 1.00e-017 cm²

Acceptor-like Tail Parameters

EA: 0.01 eV
 GAO: 1.00e+014 1/cm³/eV
 TSIG/NA: 1.00e-017 cm²
 TSIG/PA: 1.00e-015 cm²

(b)

Gambar 3.7 (a) *Edit Band Tail Parameters*, (b) Tampilan *Band Tail Parameters*

7. Diklik *Edit Gap State Parameters*, Lalu dimasukkan nilai-nilainya pada *Gap State Parameters*.

Layer Information

Light

LAYERS

1 - Layer 1

Edit Absorption Properties Edit Band Tail Parameters

Add New Layer Delete This Layer Edit Gap State Parameters Edit Lifetime Parameters

GENERAL LAYER PARAMETERS

EPS: 11.90 NA: 0.00e+000 1/cm³ NC: 2.80e+019 1/cm³
 MUN: 1350.0000 cm²/V/s ND: 0.00e+000 1/cm³ NV: 1.04e+019 1/cm³
 MUP: 450.0000 cm²/V/s EG: 1.12 eV CHI: 4.05 eV

DEVICE GRID PARAMETERS

Total device width: 0.1000 μ m
 Edge grid spacing for all layers: 0.5 nm Edit

LAYER GRID PARAMETERS

Layer grid points: 52
 Layer thickness: 100.0 nm
 Center grid spacing: 5.0 nm

OK Reset Layer Information

(a)

Gap State Parameters

Current Layer: Layer 1

OK Cancel All Changes

Background State Distribution

☐ Flat Distribution

☒ V-Shaped Distribution

Flat Distribution Parameters

EDA: 0.56 eV

GMDG	1.00e+012	1/cm ³ /eV	GMGA	1.00e+012	1/cm ³ /eV
MSIG/ND	1.00e-015	cm ²	MSIG/NA	1.00e-017	cm ²
MSIG/PD	1.00e-017	cm ²	MSIG/PA	1.00e-015	cm ²

Discrete Defects

☒ Donor ☐ Acceptor

Defect:

ND: 1/cm³

EDON: eV

WDSG: eV

DSIG/ND: cm²

DSIG/PD: cm²

Add New Defect

Delete This Defect

Gaussian Defects

☒ Donor ☐ Acceptor

Defect:

NDG: 1/cm³

EDONG: eV

WDSG: eV

GSIG/ND: cm²

GSIG/PD: cm²

Add New Defect

Delete This Defect

(b)

Gambar 3.8 (a) *Edit Gap State Parameters*, (b) *Tampilan Gap State Parameters*

8. Diklik *Voltage Biasing* Pada *Device Diagram*, lalu dimasukkan nilai-nilainya.

Case1

DEVICE DIAGRAM

Light → [1] [2] [3] [4] ... [N]

Front Contact Back Contact

Layers

Device Modeling Approach

☒ DOS MODEL ☐ LIFETIME MODEL

SUBMIT CASE TO QUEUE

Device Operating Conditions

VOLTAGE BIASING ILLUMINATION CONDITIONS OPERATING TEMPERATURE

Device Structure & Material Parameters

FRONT CONTACT LAYER INFO BACK CONTACT

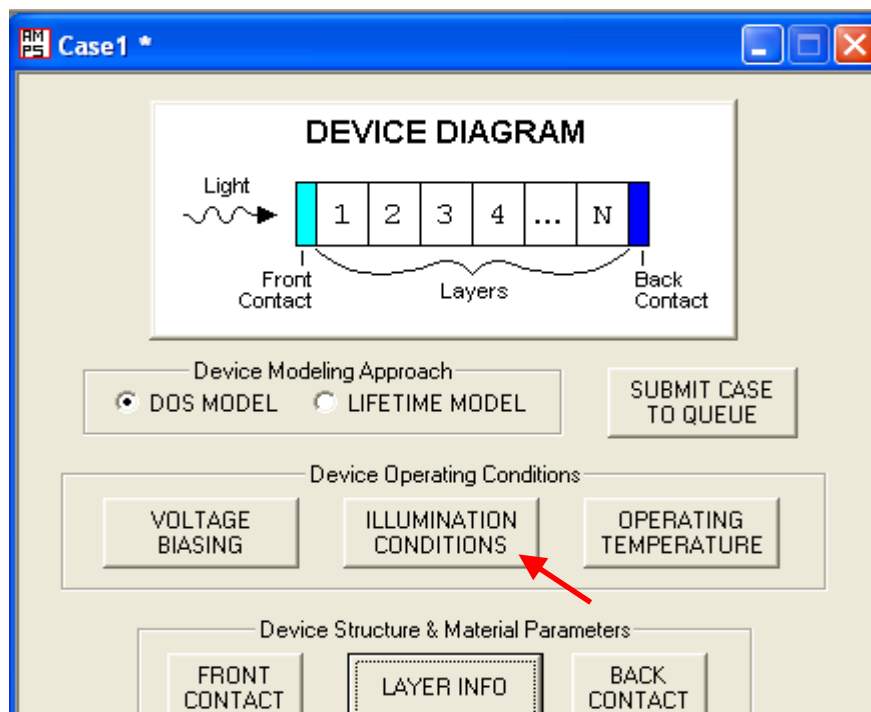
(a)



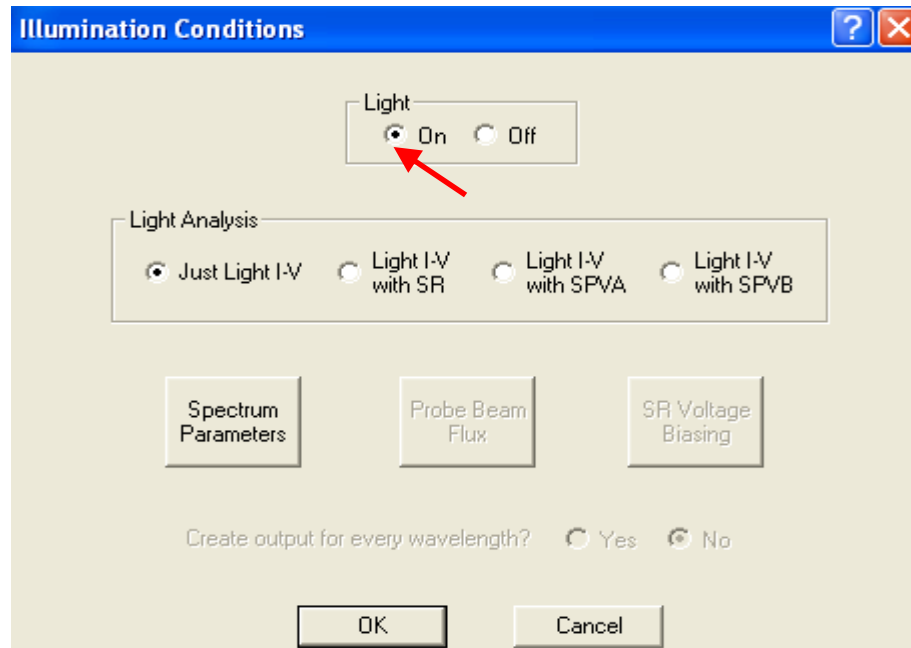
(b)

Gambar 3.9 (a) *Voltage Biasing*, (b) Tampilan dari *Voltage Biasing*

9. Diklik *Illumination Conditions*, lalu diklik *Light* pada posisi *On*



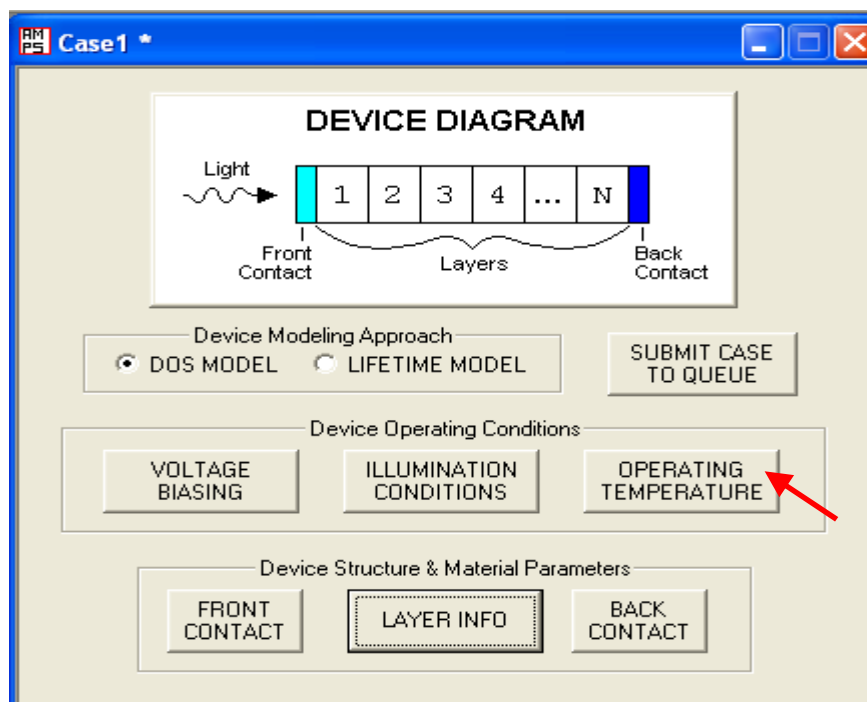
(a)



(b)

Gambar 3.10 (a) *Illumination Conditions*, (b) Tampilan dari *Illumination Conditions*

10. Diklik *Operating Temperature*



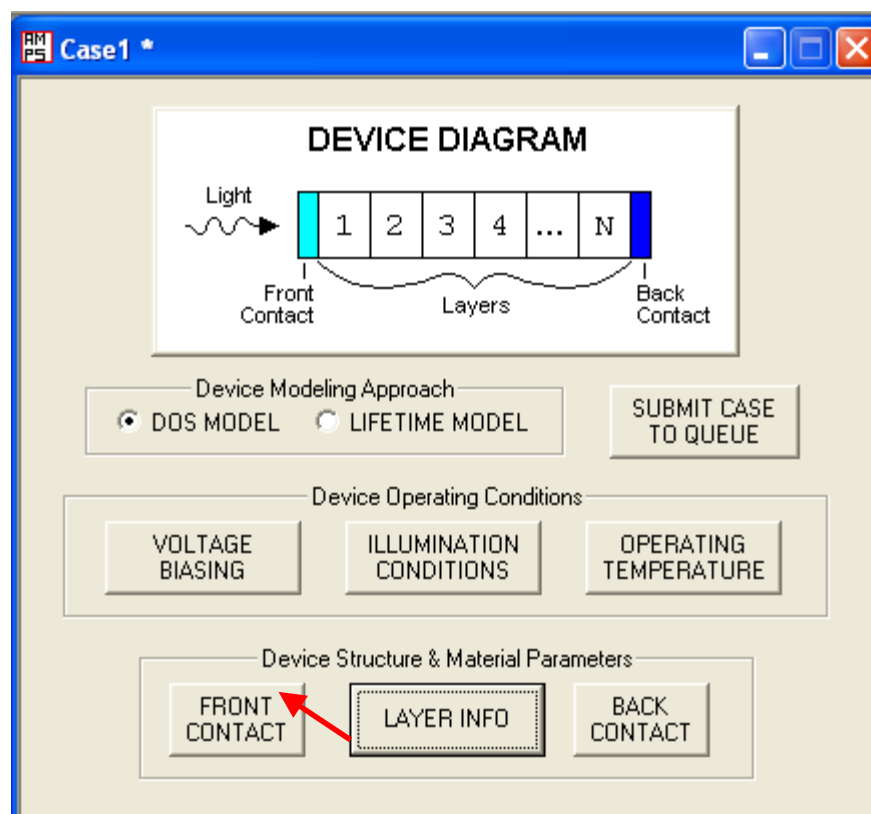
(a)



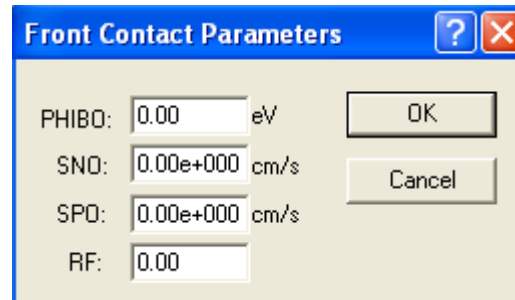
(b)

Gambar 3.11 Device Diagram (a) *Operating Temperature*,
(b) Tampilan *OperatingTemperature*

11. Diklik *Front Contact*, Lalu diedit nilai-nilai pada *Front Contact Parameters*.



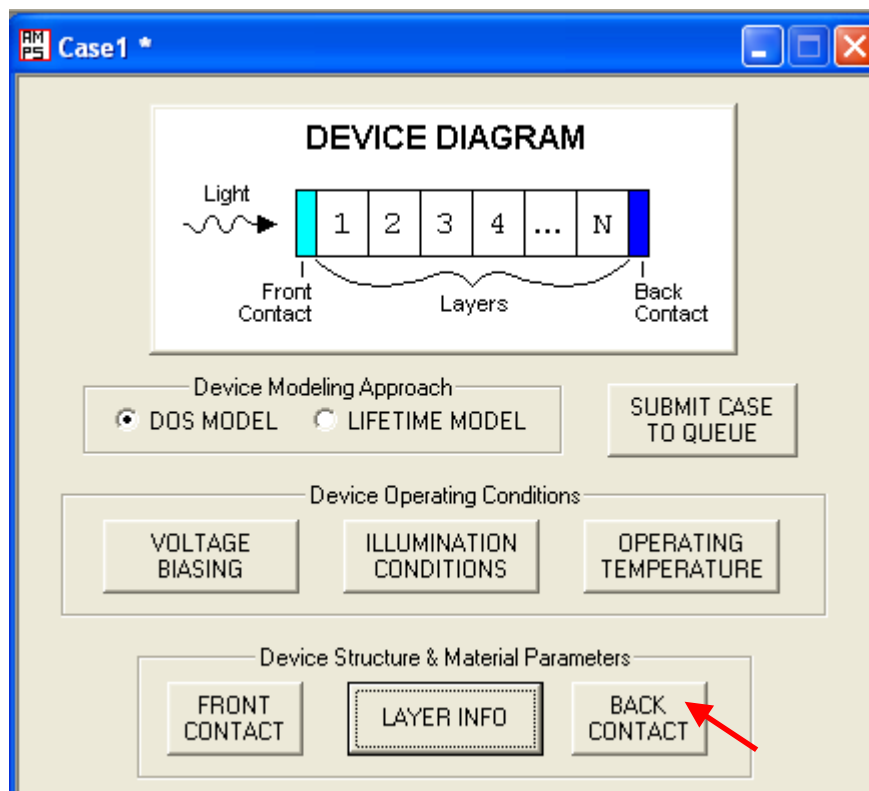
(a)



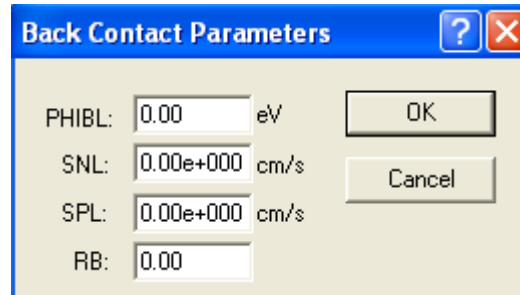
(b)

Gambar 3.12 Device Diagram (a) *Front Contact*, (b) Tampilan pada *Front Contact Parameters*

12. Diklik *Back Contact*, Lalu diedit nilai-nilai pada *Back Contact Parameters*



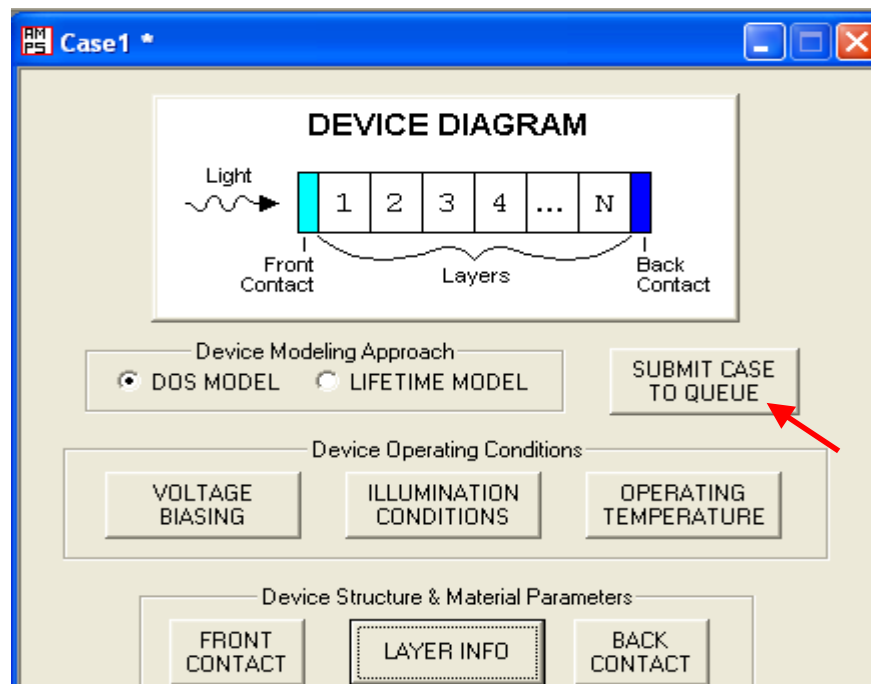
(a)



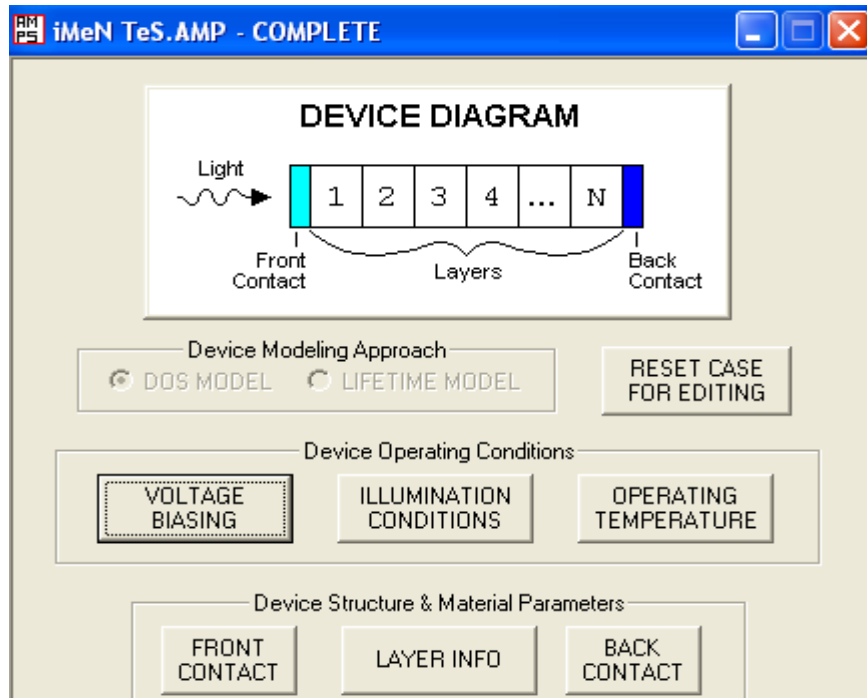
(b)

Gambar 3.13 (a) *Back Contact*, (b) Tampilan pada *Back Contact Parameters*

13. Diklik *Submit Case to Queue*, tunggu sampai muncul tampilan *Complete*



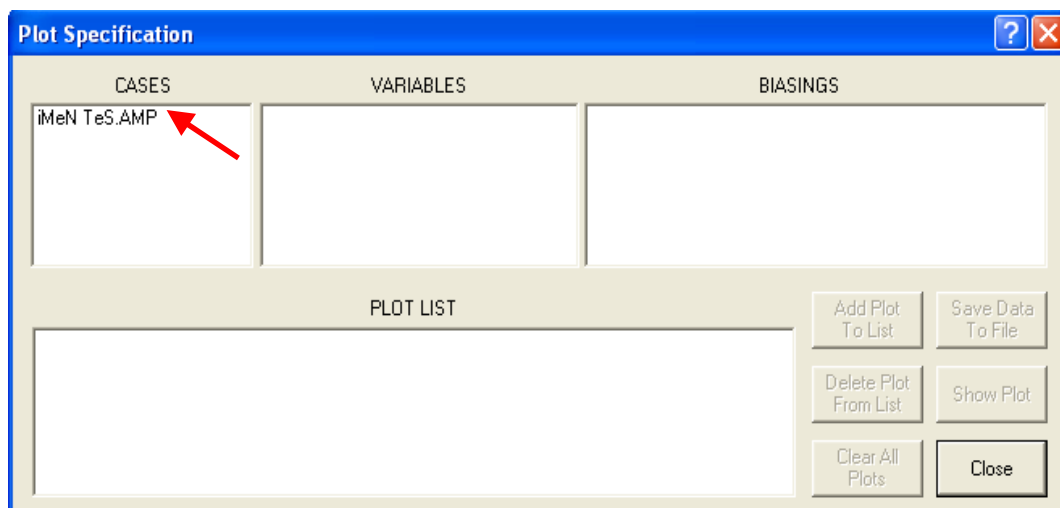
(a)



(b)

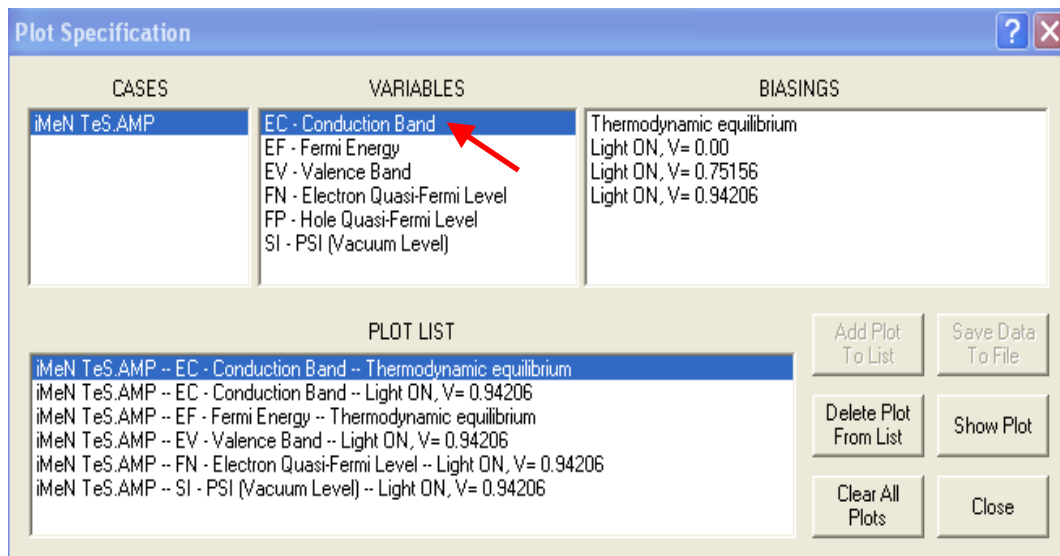
Gambar 3.14 (a) *Submit Case to Queue*, (b) Tampilan setelah di *Submit Case to Queue*

14. Setelah *Complete*, diklik *cases* pada *plot specification* untuk menampilkan hasil dari *Variables*.



Gambar 3.15 Tampilan *Cases* pada *Plot Spesification*

15. Diklik *Variables*, lalu pindahkan kursor ke *Show Plot* untuk mendapatkan grafik hasil simulasi



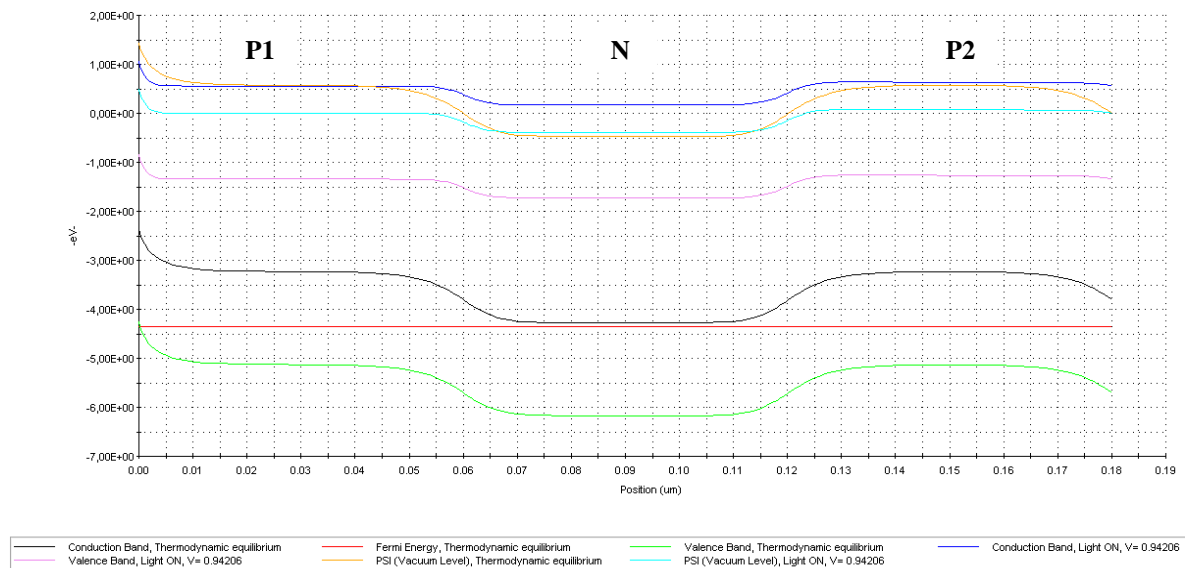
Gambar 3.16 Tampilan *Variable* pada *Plot Spesification*

BAB IV

ANALISIS HASIL SIMULASI

4.1 *Band Energy*

Band Energi yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *junction solar cell* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

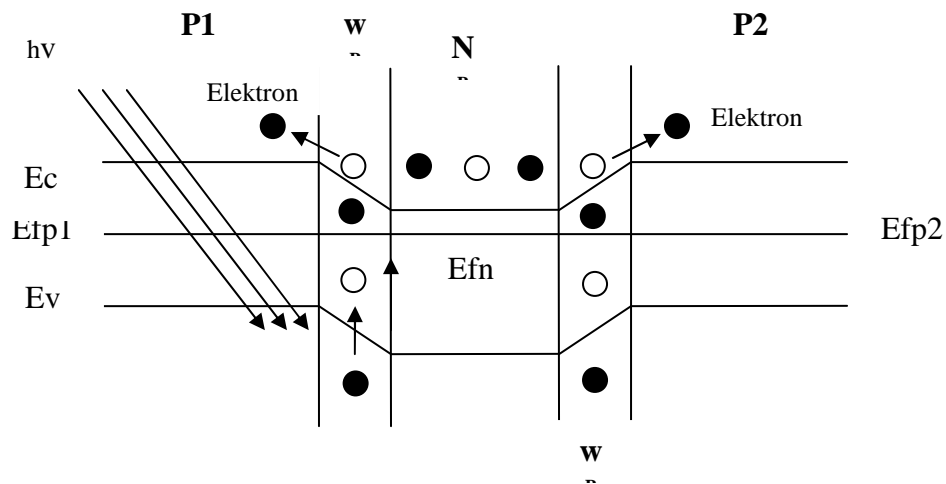


Gambar 4.1 *Band Energy*

Dari gambar 4.1 merupakan grafik *Band Energy*, bahwa saat belum dikenai cahaya atau belum mendapatkan energi, *valence band* dan *conduction band* dalam keadaan seimbang, sedangkan energi ferminya (*fermi level*) berbentuk garis lurus.

Setelah mendapatkan tambahan energi, terjadi perubahan pada *valence band* dan *conduction band*, daerah deflesi lapisan PN dan NP-nya akan mengecil sehingga elektron yang berada dilapisan N akan lebih cepat berpindah ke Lapisan P1 maupun P2. Dengan berpindah elektron, maka *hole* juga akan ikut berpindah, sehingga dengan perpindahan elektron dan *hole* tersebut akan menghasilkan arus listrik.

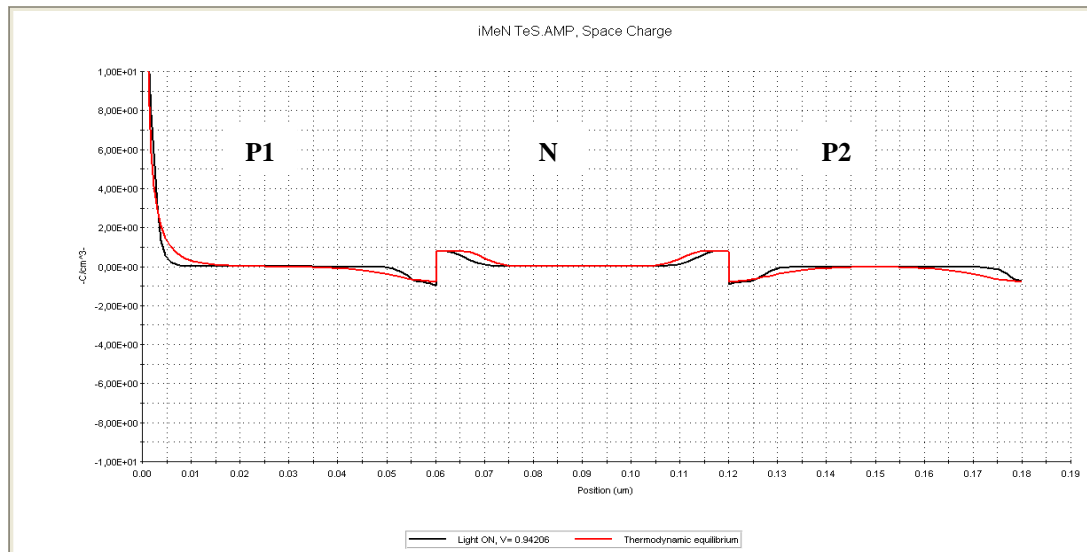
Sedangkan pergerakan elektronnya dapat dilihat pada Gambar 4.2, energi foton masuk ke dalam lapisan PNP *Junction solar cells*. Pada saat energi foton yang masuk mengenai elektron pada daerah deflesi, maka terjadi perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, dengan perpindahan elektron tersebut, maka *hole* juga akan ikut bergerak, sehingga terjadinya pergerakan elektron dan *hole* yang dapat menghasilkan arus listrik.



Gambar 4.2 Pergerakan Elektron

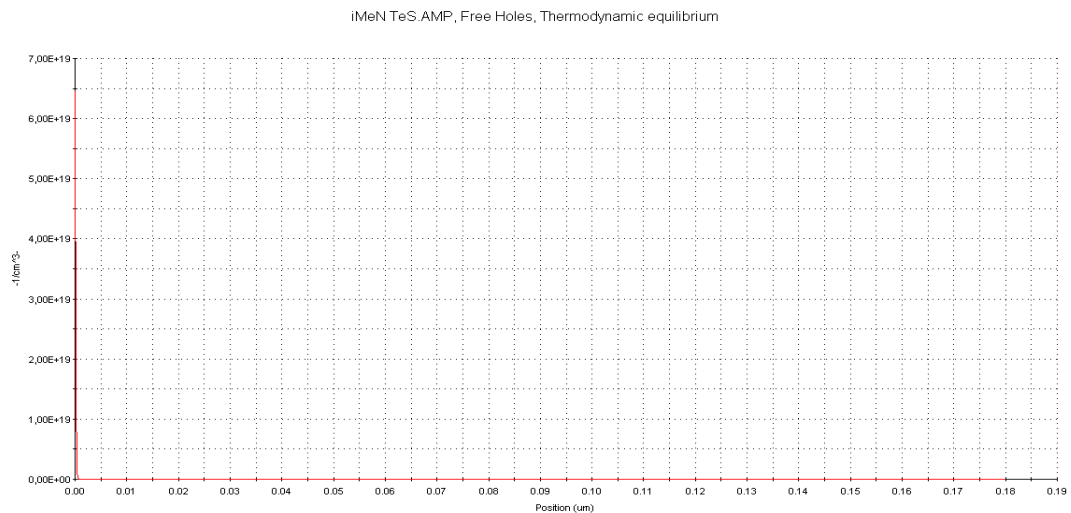
4.2 *Space charge distribution*

Space Charge Distribution yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *Junction Solar Cells* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Dari grafik *Space Charge Distribution* diperlihatkan bahwa terjadi perubahan setelah mendapatkan tambahan energi, dengan mendapatkan tambahan energi sebesar 0,942 v sehingga daerah deflesi dari lapisan PN dan NP-nya mengecil, sehingga elektron dari lapisan N akan lebih cepat berpindah dari lapisan N ke lapisan P1 maupun P2. sedangkan medan ruang dari P1 ke N adalah medan ruang negatif dan medan ruang dari N ke P2 adalah medan ruang positif.



Gambar 4.3 *Space charge distribution*

4.3 *Free Hole*

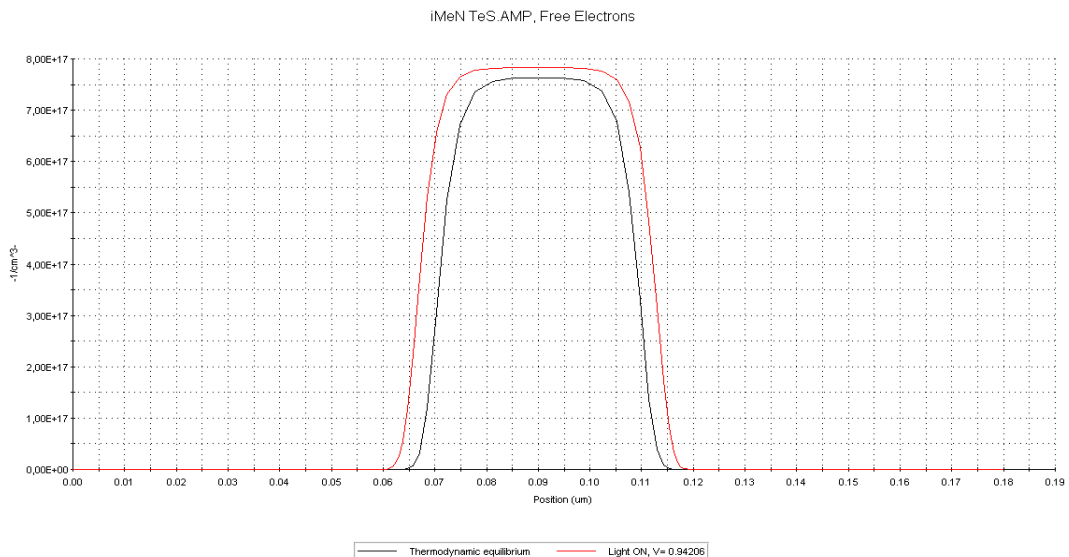


Gambar 4.4 *Free hole*

Free hole diperlihatkan pada gambar 4.4. Dari grafik yang dihasilkan, menunjukkan bahwa *free hole*-nya hanya ada pada lapisan P sedangkan dilapisan N *free hole*-nya sama sekali tidak ada. Setelah mendapatkan tambahan energi, *Free hole*-nya terjadi peningkatan pada Lapisan P, sedangkan dilapisan N juga tidak terlihat adanya *free hole*.

4.4 *Free Electrons*

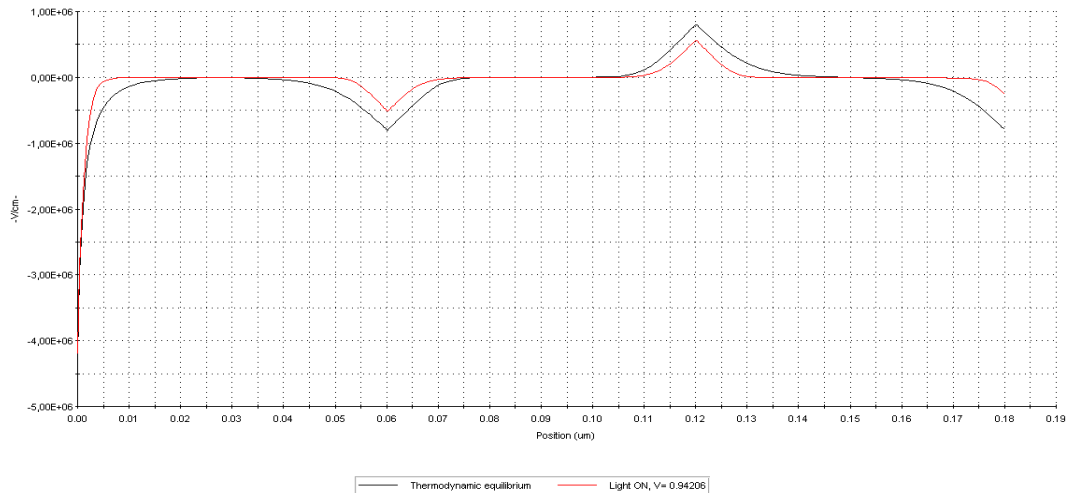
Free electrons yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *junction solar cells* dapat dilihat pada Gambar 4.5. Dari hasil grafik memperlihatkan bahwa *free electrons* pada PNP *junction solar cells* hanya terdapat pada lapisan N, sedangkan pada lapisan P1 dan P2 tidak terdapat adanya elektron bebas. Terjadi perubahan pada saat mendapatkan tambahan energi, elektron bebas pada lapisan-N meningkat sedangkan pada lapisan P1 dan P2 tidak terlihat adanya elektron bebas dan juga daerah deflesi pada lapisan PN maupun NP-nya akan mengecil. Dengan mengecilnya daerah deflesi, akan menyebabkan terjadinya pergerakan elektron dan *hole* yang cukup deras yang dapat menghasilkan arus listrik.



Gambar 4.5 *Free electrons*

4.5 *Electric Field*

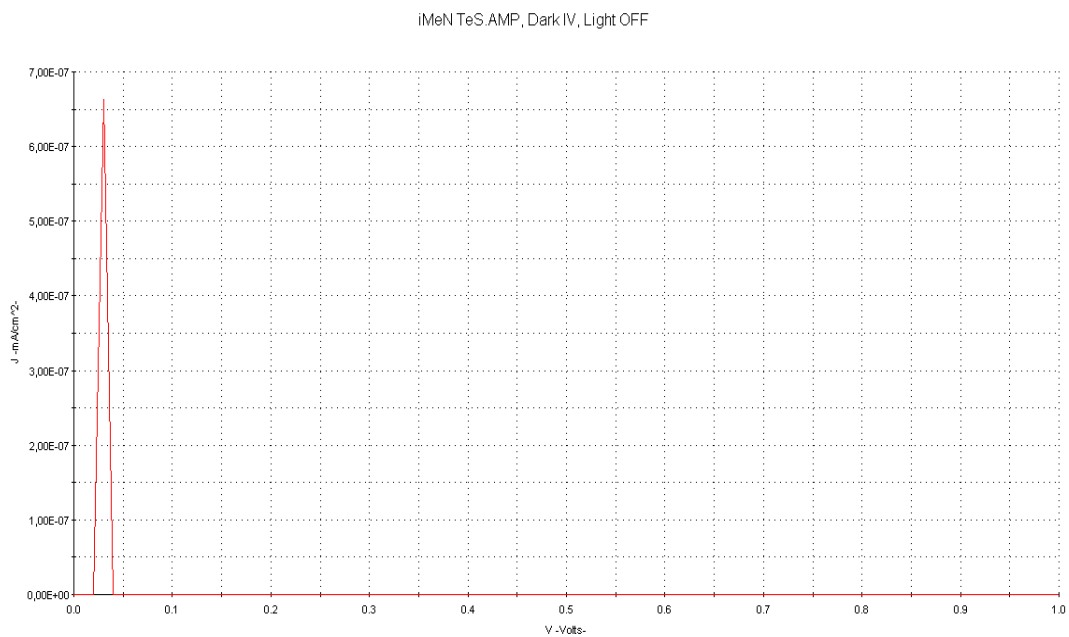
Electric field yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *junction solar cells* dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dari grafik hasil simulasi dapat diketahui bahwa sebelum mendapatkan tambahan energi daerah deflesi pada lapisan PN dan NP cukup besar, dan setelah mendapatkan tambahan energi sebesar 0,942 V daerah deflesinya yang mengecil, sehingga medan listrik lapisan P1, N, maupun P2 tersebut akan ikut membesar.



Gambar 4.6 *Electric field*

4.6 *Dark Charateristic*

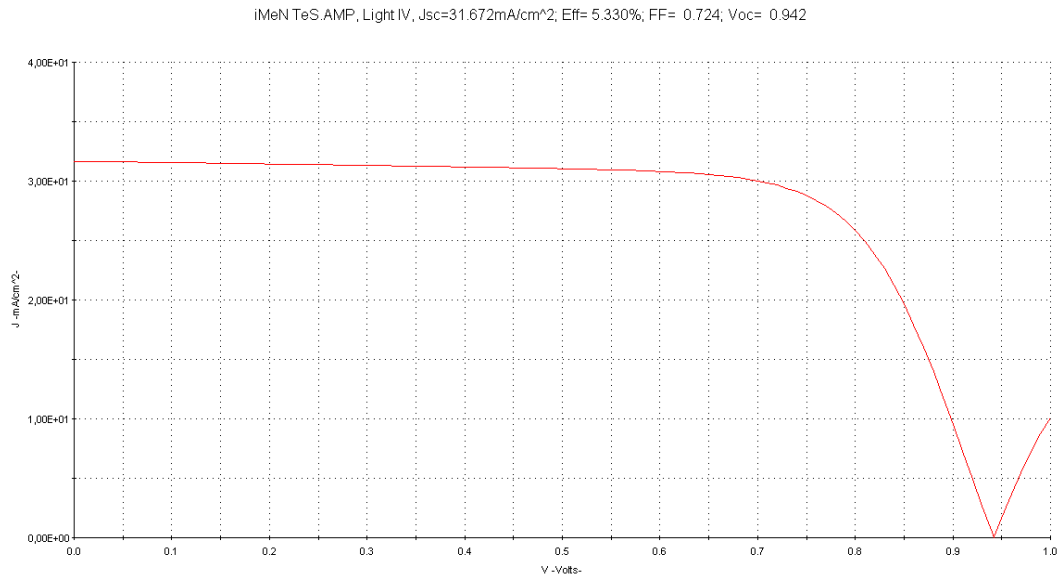
Dark Charateristic yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *junction solar cell* dapat dilihat pada Gambar 4.7. Grafik hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat dalam keadaan gelap, atau belum mendapatkan tambahan energi, masih dapat menghasilkan tegangan tapi tegangan yang dihasilkannya sangat kecil sekali yaitu berkisar sekitar 0,02 V.



Gambar 4.7 *Dark characteristic*

4.7 *Light Charateristic*

Light Charateristic yang diperoleh dari hasil simulasi PNP *solar cells* dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Light Characteristic*

Dari gambar 4.8, memperlihatkan bahwa dalam keadaan *light characteristic*, dengan adanya tambahan energi yaitu sebesar 0,942 V, maka menghasilkan rapat arus sebesar $31,672 \text{ mA/cm}^2 = 316,72 \text{ A/m}^2$, *Fill Factor* sebesar 0,724, dan efisiensi sebesar 5,330%. Sehingga dari data tersebut tersebut dapat dihitung Intensitas Maximumnya yaitu :

$$\begin{aligned} I_{\max} &= J_{sc} \times V_{oc} \times FF \\ &= 316,72 \times 0,942 \times 0,724 \\ &= 216,01 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada Penelitian ini telah dirancang struktur dengan lapisan PNP *junction solar cells* dan pada program simulasi *AMPS-1D*, telah diperoleh beberapa diagram melalui yaitu *band energy*, *space charge distribution*, *free hole*, *free electron*, *electric field*, *dark characteristic* dan *light characteristic* serta nilai efisiensinya adalah sebesar 5,330 %.
2. Dari perhitungan intensitas cahaya maksimum yang dapat dikonversi menjadi arus listrik adalah sebesar 216,01 W/m².

5.2 Saran

1. Kepada peneliti berikutnya diharapkan agar dapat melanjutkan pengembangan penelitian mengenai *solar cell*, sehingga mendapatkan efisiensi yang lebih besar lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Hamonangan, Aswan, "*Prinsip Dasar Semikonduktor*", Maret, 2009, [Online]
Available : [http://www.electroniclab.com/index.php?option=com_content
&view=article&id=13:prinsip-dasar-semikonduktor&catid=6:elkadasar&
Itemid=7.htm](http://www.electroniclab.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13:prinsip-dasar-semikonduktor&catid=6:elkadasar&Itemid=7.htm), diakses, 18 Maret 2009.

Priyambodo, Teguh, "*Pembangkit Listrik Tenaga Surya Memecah Kebuntuan Kebutuhan Energi Nasional dan Dampak Pencemaran Lingkungan*", Maret, 2009, [Online] Available : [http://Chem-is-try.org/artikel_kimia/
pembangkit_listrik_tenaga_surya_memecah_kebuntuan_kebutuhan_energi
_nasional_dan_dampak_pencemaran_lingkungan.htm](http://Chem-is-try.org/artikel_kimia/pembangkit_listrik_tenaga_surya_memecah_kebuntuan_kebutuhan_energi_nasional_dan_dampak_pencemaran_lingkungan.htm), diakses 19 Maret 2009.

Wikipedia, "*Solar Cell*", Maret, 2009, [Online] Available : [http://translate.google.
co.id/translate?hl=id&langpair=en|id&u=http://en.wikipedia.org/wiki/solar
_cell&prev=/translate_s%3fh1%3did%26q%3dair%2bmass%2bcoefficient
%26sl%3did%26tl%3den.Htm](http://translate.google.co.id/translate?hl=id&langpair=en|id&u=http://en.wikipedia.org/wiki/solar_cell&prev=/translate_s%3fh1%3did%26q%3dair%2bmass%2bcoefficient%26sl%3did%26tl%3den.Htm), diakses 22 Maret 2009.

Wikipedia, "*Sel Surya*", Maret, 2009, [Online] Available : [http://id.wikipedia.org/
wiki/Sel_surya.htm](http://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya.htm), diakses 22 Maret 2009.

Wikipedia, "Semikonduktor", Maret, 2009, [Online] Available :
<http://id.wikipedia.org/wiki/Semikonduktor.htm>, diakses 22 Maret 2009.

Fonash, Stephen J, "*A Manual For AMPS-ID*", *Data File*, The Pennsylvania State University and Electric Power Research Institute, Pennsylvania, 1997.

Sze, S.M dan Kwok K.Ng, "*Physics of Semiconductor Devices*", *Data File*, Macronix International Company, Hsinchu, Taiwan, 2007.

Istriani, Eli, “*Simulasi Efisiensi Solar Sel Dengan Menggunakan Efek Tunnel*”, Skripsi, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Khasim, Pekanbaru, 2008.

Triarman, “*Perancangan dan Analisa Tunnel Solar Sel*”, Tesis, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok Januari, 2003.

Halomongan, Banjir, “*Perancangan dan Simulasi NPN Junction Solar Cell*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Khasim, Pekanbaru, 2009.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



APRISMAN, Lahir di Gampung Raja Jambo, Matang, Aceh Bireun, 04 Mei 1985 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari Aprizal.Is dan Badriah.S yang beralamat di J.A.R. Hakim, KPR 2 Jl.1 No.26 Tualang Perawang, Siak.

Email : aprisman@ymail.com

HP : 085271060985

Pengalaman pendidikan yang dilalui pada SD Negeri 065 Tualang tahun 1992 hingga 1998 dan dilanjutkan Tahun 1998 di SMP Negeri 05 Siak hingga tahun 2001. setelah tamat dari SMP dilanjutkan di SMK Negeri 05 Pekanbaru yang beralamat di Jl. DI. Panjaitan Rumbai dan mengambil Jurusan Elektronika Audio Vidio hingga tahun 2004. Kemudian Melanjutkan Kuliah di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Fakultas Sains dan Teknologi Jurusan Teknik Elektro Prodi Elektronika dan Lulus Pada tahun 2010 dengan IPK 3,08.

Penelitian Tugas Akhir berjudul **"Perancangan dan Simulasi Pada *PNP Junction Solar Cells*"**